

奥地利岩石力学学派的基本观点 与岩石力学测试和监控

——第31届奥地利地质力学学术讨论会纪实

水利水电科学研究院 傅 冰 駿

一、概 况

第31届奥地利地质力学学术讨论会，于1982年10月7日—10日在奥地利萨尔茨堡举行，笔者应邀参加了这次会议。在学会名誉主席L.缪勒（L.Müller）教授安排下，参观访问了国际岩石力学研究所、维也纳工业大学、格拉兹工业大学、阿尔卑斯山区及维也纳近郊的水电站工地，历时20天。

参加这次会议的代表共740余名，主要来自西欧各国，但也有美国、苏联、日本、澳大利亚和以色列的专家，会议的官方语言是德语和英语（进行同声翻译）。共选出30篇论文在大会上宣读。论文涉及的内容分四个专题：

1. 岩石力学在工程建设上的应用（共10篇）；
2. 德意志联邦共和国从汉诺威（Hannover）到沃兹堡（Würzburg）的新建铁路隧道（7篇）；
3. 岩体移动地区的工程建设（8篇）；
4. 大坝地基（5篇）。

10月8日上午，笔者宣读了论文《溢流坝坝基现场试验研究方法》（与朱之杰同志合写的）。8日下午应邀作为大会执行主席，与巴赫（F.pacher）、雷赫（O.Rescher）两位教授共同主持了最后半天的会议。

通过会议及参观考察，着重了解到：

- 1) 奥地利地质力学学会的一般情况及其基本观点；
- 2) 奥地利国际岩石力学研究所情况；
- 3) 新奥地利隧洞施工方法（NATM）要点及其在工程上的应用；
- 4) 奥地利通用的岩质边坡稳定的原体监控方法。

鉴于我国在岩体监控方法与国际水平相比差距较大，本文拟作重点介绍。

二、奥地利地质力学学会及其基本学术观点

（一）奥地利地质力学学会

奥地利地质力学学会是奥地利联邦共和国的全国性民间学术组织。它是在1951年由L.缪

勒教授等发起组织起来的。学会会址设在萨尔茨堡，因此也称为“萨尔茨堡小组”。在学会成立之初，为了拟定一个恰当的名称来表征这个跨学科的科学组织。经过反复研究，最后定名为“地质力学学会”。他们所称的地质力学与我国李四光教授所倡导的地质力学并不相同。按照奥地利萨尔茨堡学派的意见，所谓“地质力学”，是将地质学、工程地质学、地球物理学、材料力学、工程科学，矿业科学等学科综合在一起，并在多个学科之间建立最密切的合作，故称“地质力学”。它的研究课题，一方面是岩石工程和矿业工程（包括岩石表面或岩体内部修建的工程）；另一方面是地壳的构造（即研究构造地质力学及大地构造学）。学会成立的另一个意图是在理论工作者和实际工作之间建立一个桥梁，双方可以充分利用这个组织交换意见。

自1951年开始，学会每年召开一次“奥地利地质力学学术讨论会”。1962年在奥地利地质力学学会的基础上，发展成立了世界范围内的“国际岩石力学学会”（ISRM），L.缪勒教授任第一届学会主席

国际岩石力学学会成立之后，奥地利学会是国际岩石力学学会在奥地利联邦共和国的地方组织。

奥地利地质力学学会会员有两种一个人会员和赞助会员。赞助会员主要提供经济上的援助。目前会员总数约800名。

学会的机关刊物是《岩石力学》（Rock Mechanics, Feismechanik），是国际上著名的岩石力学杂志。主编为L.缪勒教授。

（二）奥地利学派关于岩石力学的基本观点

1. 岩体是一种各向异性的复杂介质。其中包括各种不同成因和不同类型的不连续面，而且处于极为复杂的应力状态之下。工程岩体的力学性质，尤其是强度特性，主要取决于结构面的空间分布规律，组合方式，粗糙程度等因素。也就是说，主要取决于单元岩块接触面上的强度。岩体的变形，也主要取决于结构面的变形，而不是单元岩块的变形。因此岩石力学的研究重点是岩体，而不是岩块。应该在了解和掌握各种地质信息（包括岩体结构特性）的基础上，采取综合研究手段，尤其是现场试验和监控手段，来研究岩体结构，断裂对力学性质的影响。

2. 工程岩体，尤其是水工建筑岩体往往是由两相介质，即固体部分和液体部分组成。液体，即水的作用有三：（1）渗压水似千斤顶一样推动岩石；（2）使岩体结构面之间的充填物进一步软化；（3）削减作用在结构面上的法向应力，降低抗剪强度。实践证明，不少工程失事是由水的作用所造成。

3. 岩石力学是在工程地质学的基础上发展起来的。要发展岩石力学，必须很好地掌握地质方面的知识。研究岩石力学的具体手段有四种：（1）计算方法；（2）地质力学及其模型试验方法；（3）岩石力学试验监控，尤其是现场岩石力学试验和监控方法；（4）工程经验方法。上述四种方法应该相互补充、互相印证。计算方法及模型试验方法虽然是研究岩石力学性质的很重要的手段，但是岩石力学不同于物理、化学、天文等学科，不能单纯依靠计算来达到很大的精度，否则会导致更大的错误。在许多的情况下计算方法及物理模型试验方法并不能最后解决问题，最终往往是凭工程经验来定局。世界上许多岩体工程发生破坏，没有一个是计算错误引起的，而是对问题认识的思维方法错误所造成的。因此关键在于有一个正

确的概念和正确的指导思想。

当前,对岩体在加荷过程中的力学特性研究得较透,但是近三十多年来的岩石力学研究工作还没有找到恰当的公式来描述岩体的卸荷过程(如象大坝地基在加荷以前要开挖大量的土石方;地下洞室是在卸荷状态下工作),故在解决工程问题时,经验方法往往是占重要地位的主要原因。

4. 岩石力学必须为工程服务,否则就失去它的生命力。岩石力学的研究课题均来源于实践,而研究成果又必须回到实践中去,进一步检验并发展理论,但更重要的问题是用理论来解决实际问题。因此应该重视实践,重视地质工作,善于研究工程实例,总结和积累经验。为了正确地运用岩石力学理论,L. 缪勒教授强调不能光靠书本知识。应该多到现场去观察和思考问题。应该在现场考察的基础上,检验这些理论的适用程度。他还认为国际岩石力学学会(ISRM)成立之后,取得了不少成就,但总的趋势是过分重视理论和强调数学和力学方法,而忽视了它的工程地质基础和在实践中的作用,应该引起大家的注意。

5. 强调各专业人员之间的密切协作。岩石力学是一个新兴的边缘学科,它涉及到工程地质、地球物理、土力学、流变学、构造地质、地震地质、数学和力学等专业,但要想成为兼备各学科的专家是不可能的。因此,从以上观点出发,1951年L. 缪勒教授就邀请了16位不同专业的专家(包括工程地质专家司梯尼、岩石构造专家桑德尔和塑性理论专家那达伊等)成立了萨尔斯堡小组,共同来讨论研究所遇到的问题。此后,采取这一方法在解决意大利瓦依昂大坝、日本黑部川四号大坝等工程的设计和施工过程中,得到圆满结果。奥地利地质力学学会成立30年多来的实践经验,证明这种工作方法是正确的。

三、奥地利国际岩石力学研究所及岩石力学现场试验和监控

国际岩石力学研究所(International Versuchsanstalt für Feis,简称 Interfeis),由L. 缪勒教授创立于1961年。是一个研制,出售岩石力学,土力学仪器设备的有限公司。公司的专业涉及矿业工程、土木工程、水利工程等。公司的专业人员也对外承担工程上的试验监控任务,并在不断总结经验的基础上刊行学术论文。

该研究所分为三个部分:第一部分设在奥地利萨尔茨堡,第二部分在西德本萨姆,第三部分在西德汉诺威。在汉诺威的分公司也称依司特曼仪器公司(Eastman instruments GmbH),该公司原系美国企业,1980年并入国际岩石力学研究所系统。

笔者只参观了萨尔茨堡国际岩石力学研究所。该研究所仅有两间办公室,在办公室内陈列了部分仪器设备。全所共10个人,多系从事工程地质、地球物理、土木工程的专业人员。除进行一般业务上的联系以外,还承包本国及国外的岩体力学试验及监控任务(如60年代初期,日本著名的黑部川4号高拱坝工程的大规模岩体力学现场试验,就是这个研究所在L. 缪勒教授的指导下进行的)。在承包过程中,研究所一般只出设备及技术指导,试验人员就地培训。公司经理也搞具体工作,笔者参观时,经理麦耶(G. Mayer)正在非洲作委托试验。

据介绍,在西德本萨姆的研究所共30人,主要从事仪器设备的设计,而仪器的加工和制造委托其它厂家进行。在汉诺威的研究所仅有4个设计人员,主要是研制地球物理方面的仪器

设备（如测斜仪，钻孔电视机等）。

所有试验资料的分析整理均由电子计算机处理。室内试验则委托西德卡尔斯鲁厄大学岩石力学研究所进行。

这个研究所所进行的岩石力学监控和试验工作的总体布置情况见图1~6。

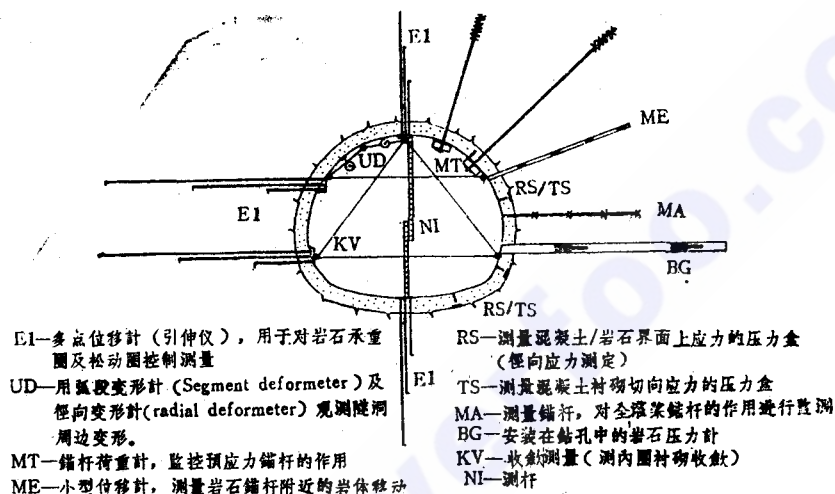


图1 地下洞室（隧洞、地下厂房、压力竖井等）开挖监控和试验布置图

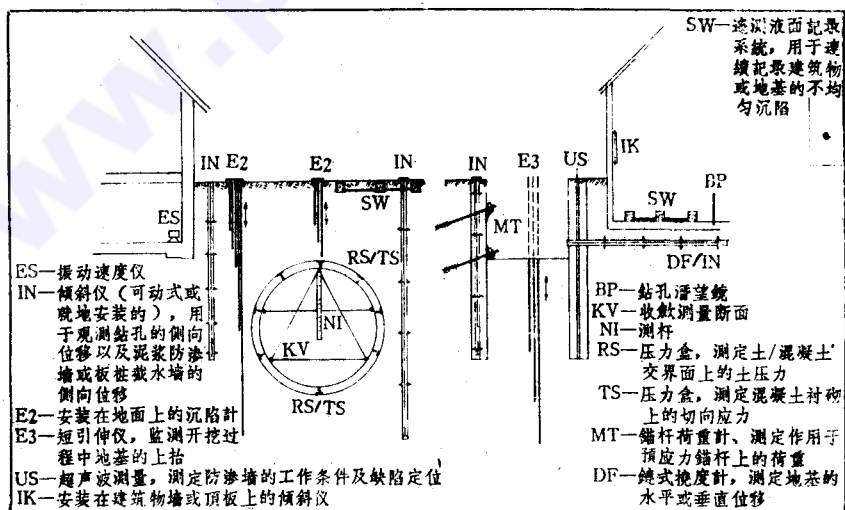


图2 地下及港口等土木工程、地下铁道、深基础、泥浆防渗墙、板桩截水墙的监控试验

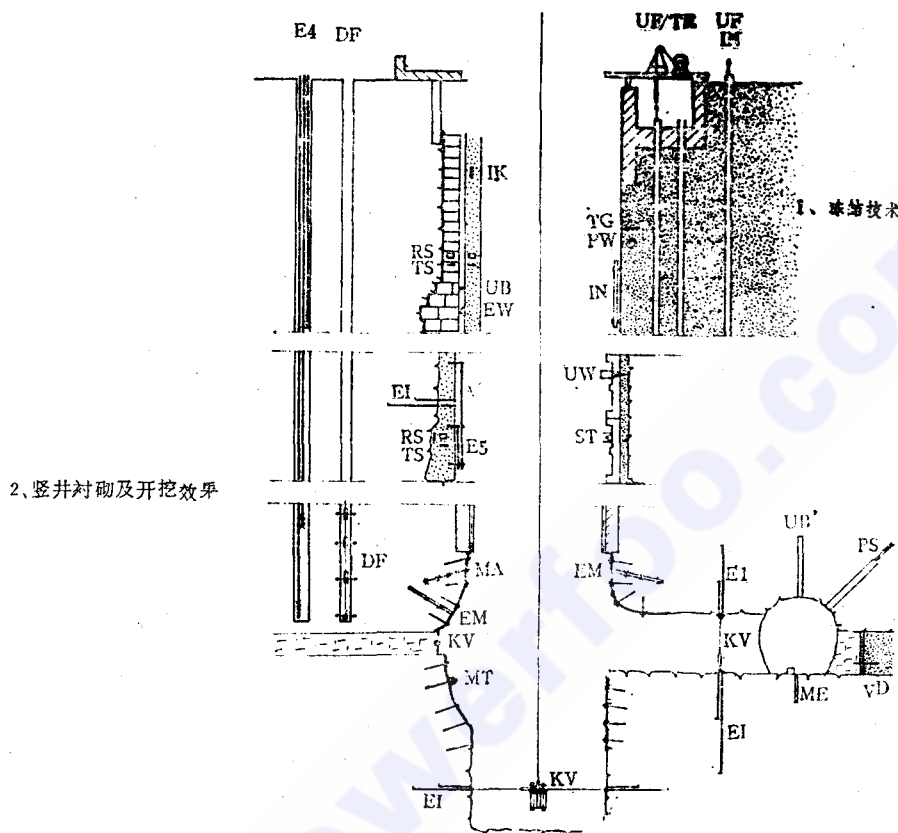


图3 竖井、采矿工程开挖监控

E 4—多点杆式位移计, 监控开挖过程中的沉陷

DF 一链式位移计, 监控开挖过程中的侧向位移

IK 一倾斜仪,测定竖井衬砌的倾斜变位
RS 一压力盒,测定岩石/混凝土交界面
上的应力

TS —混凝土衬砌内的压力盒，测定切向应力

UB — 超声波测量, 测定沥青填料厚度

EW—遥测机械式传感器，测定沥青填料厚度

EI 一钻孔位移计, 测量岩石承重环及松动圈

E 5 一位移计, 监控由于开挖引起的竖井变形

MA—测量锚杆，监测全灌浆锚杆的作用
EM—小型位移计，测量锚杆系统附件的

岩石变位

KV—收敛测量计

MT—锚杆荷重计，监控预应力锚杆的作用

UF—超声波测量，用于测定冰冻墙的厚度

TE 一温度计 (移动式或就地安装的)

IN 一倾斜仪,测定由冻结作用引起的侧向位移

TG—温度梯度计，测定岩石及冻结墙的温度梯度

PW—孔隙水压力计

UW—超声波测量，测定冻结厚度

ST 一用套钻方法测定竖井围岩的地应力

ME—微地震测量仪器

EI—多点位移计（引伸仪）用于对岩石承重圈及松动圈控制测量

UB—地下洞室钻探测量设备，如岩心定向，钻孔偏斜（孔斜仪），爆破钻

孔测量，气体流量计。

PS—用两向或三向应力计测定岩体主应力状态

VD—扁千斤顶试验，在填方中测量土压力

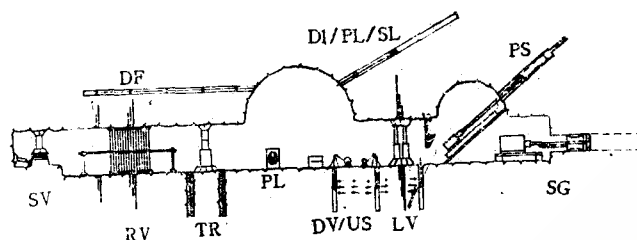


图4 现场测定岩石力学性质

DF—挠度计，链式挠度计

DI—钻孔膨胀计试验

PL—点荷载设备

SL—声波测井仪器

PS—双向或三向应力计测量岩体主应力

SV—抗剪试验，尤其是裂隙面的抗剪试验

RV—径向千斤顶试验，主要用于压力管

道及压力竖井

TR—三轴试验

DV—扁千斤顶试验，包括单千斤顶及双千斤顶试验

US—超声波测定岩石灌浆效果

LV—承压板试验，测定岩体变形

SG—国际岩石力学研究所 (Ietefels) 系统，大直径钻孔地应力测量

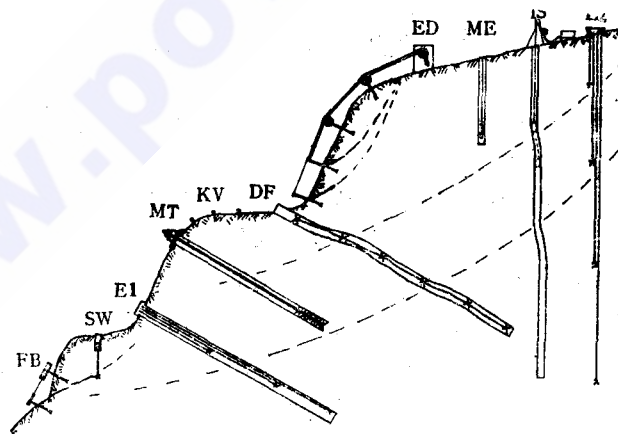


图5 坡边稳定性监控

FB—岩石移动监控仪 (rock spy)，土体移动探测仪，测缝计

SW—液面测量系统，与位移计共同作用，测定地表上升或沉降

EI—杆式位移计，边坡松动监控

MT—锚杆荷重计，监测锚杆作用

KV—收敛计位移观测

DF—链式位移计

ED—钢弦式位移计，监控地表滑动

ME—微地震监测仪，用于崩坍控制及冰川、冰层监测

IS—倾斜仪，测定侧向位移

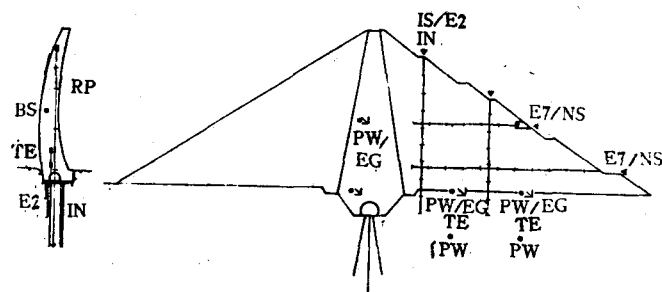


图 6 坝体、坝基与基础处理变形观测

RP — 倒锤，测定混凝土坝的水平位移

BS — 混凝土应变计

TE — 温度计（现场埋设的）

E2 — 杆式位移计，测大坝和地基变形

IN — 链式位移计，测大坝地基的水平位移

IS — Idel仪，观测垂直方向沉陷或水平方向的变形

E7 — 坝体内埋设的链式位移计

NS — 水准测量仪，观测水平沉陷

PW — 孔隙压力计

EG — 土压力计（埋置在不同方向）

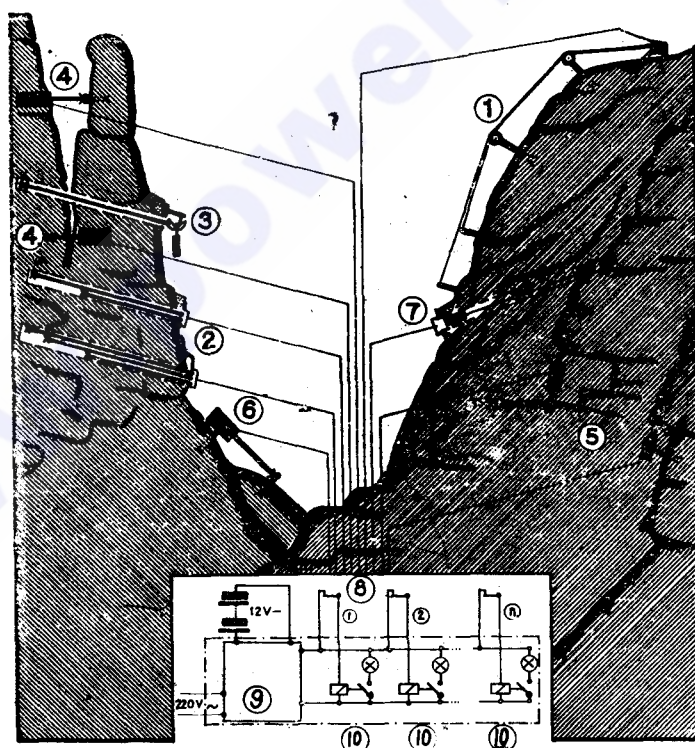


图 7 自然岩质边坡监控和报警装置

图中①—多点弦式引伸仪或称钢丝伸长计 (multiple wire extensometer)

②—杆式引伸仪 (rod extensometer)。③—机械式位移指示器 (mechanical movement indicator)。④—电动位移指示器 (electrical movement indicator)。

⑤—岩石移动监控器 (rock spy)。⑥—土体移动监控器 (soil spy)。⑦—挠度计 (deflectometer)。⑧—中心读数测站 (central readout station)。⑨—蓄电池缓冲电路。⑩—报警装置。

值得提出的是岩质边坡稳定性现场监控方法, 国内尚属薄弱环节, 特予介绍, 以供我们借鉴和学习。

国际上常用的现场监控仪器是: (1), 钻孔倾角仪 (borehole inclinometer); (2) 倾斜计 (tiltmeter)。用上述两种仪器测岩体变形的方已列入国际岩石力学学会野外试验建议方法 (编号为 CFT—3。汉译本“岩石力学试验建议方法”煤炭出版社, 郑雨天、傅冰骏等译校)。以下仅介绍奥地利研制的几种仪器, 其中有一些是简而易行的。可因地制宜加以采用。

图7为天然岩质边坡的监控和报警装置。其中杆式引伸仪、盘式荷重计在国内已有所介绍 (见水利水电科学研究院《新奥法测试技术简介》傅冰骏, 马国瑾编1981年12月)。

1. 多点弦式引伸仪

如图8所示。在岩质边坡表面上设置一些测量钢弦, 当边坡移动时, 带动钢弦产生位移, 并由电动传感器将位移读数显示出来。当位移超过一定限度时, 即行报警。图的左端为零点读数位置, 右端为边坡滑动时的情况。

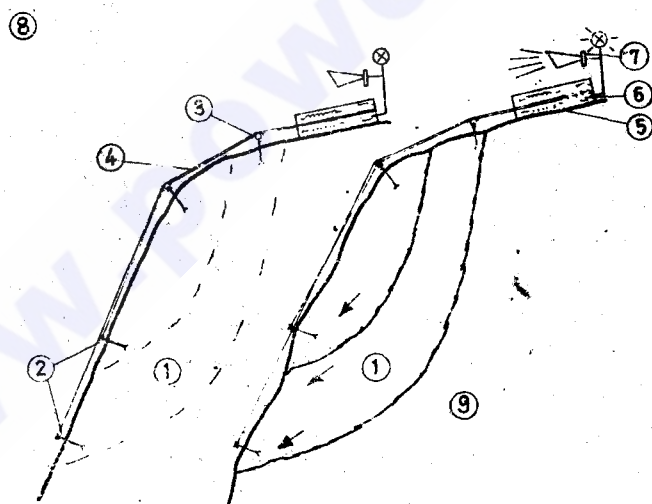


图 8 岩质边坡位移报警装置图

图中①—滑动边坡。②岩石锚栓 (rock bolts)。③—滑轮。④—测量钢弦 (measuring wire)。⑤—电动传感器 (electrical transducer)。⑥—机械式限制开关 (mechanical limit switch)。⑦—声学或光学报警设备 (acoustical or optical alarm device)。

具有温度补偿的钢弦总长度可达 100 余米。测量精度为 0.1~1 毫米; 可用三种方法进行

读数：直接读数；机械式记录器；电动遥测记录。上述仪器也适用于土质边坡及土坝边坡监测。当边坡的滑动范围较大，而在钻孔中埋设观测仪器很困难时，应用这种仪器是很方便的。

2. 机械式位移指示器

如图9所示。监测时，在重锤及岩体表面的锚固板上涂以磷光，以便在远处可以观察到它们之间的相对位置。

3. 电动位移指示器

原理与机械式位移指示器相同，只是外加一个电子显示和报警装置，测量范围可从 $\frac{1}{2}$ 毫米到3厘米。当岩体移动超过一定数量时，报警灯泡开始发光。用电池组供电时，仪器能正常运行10余天；不用电池组时，仪器可与外部干线相联。

4. 岩石移动监控器 (rock spy)

如图10所示。左方为岩体未发生滑动时的位置，右方为岩体开始滑动进行报警时的情况。当岩体发生相对移动时，仪器探头推动千分表杆，可用直接方法或电测方法测得位移量。用这种仪器可以在难以到达的岩质边坡上进行连续读数和监控，仪器本身的结构也简单、牢固。数组仪器可以联合组成一个报警系统。埋设仪器时，也无需打深钻孔，图10a、

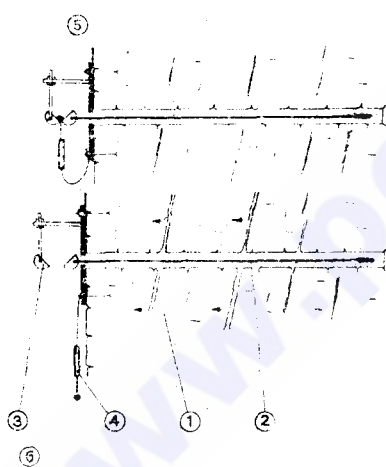


图9 岩体位移监控布置图

①—裂隙岩体。②—锚杆，一端固定于深部岩体中，另一端伸出钻孔以外，其端部为一个可调节的刀口(adj-ustable edge)。③—固定在岩体表面可调节反向刀口(adjustable counter edge)。④—钢芯棒(steel mandril)。⑤—岩体位移前，⑥—岩体移后两刀口位错，钢芯棒下落。

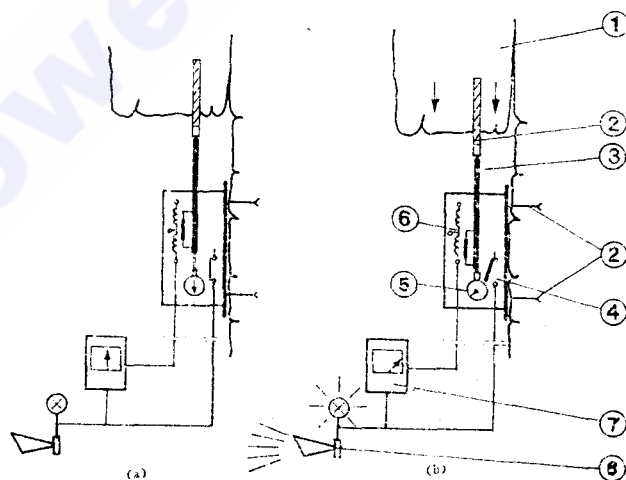


图10 岩石移动监控报警系统示意图

①—滑动岩体。②—锚固杆，上方锚固杆固定在不稳定岩体上，右方两个锚固杆固定在稳定岩体上。③—仪器探头。④—限制开关。⑤—直接读数(direct reading)千分表。⑥—电动传感器。⑦—读数装置。⑧—光学或声学报警装置。

10b为监控实例。

5. 链式挠度计 (chain deflectometer)

挠度计是一种埋设于钻孔中的设备, 用于测量垂直于钻孔轴向或倾斜于钻孔轴向的岩体位移。而引伸仪, 包括杆式引伸仪只能测定沿钻孔轴向的岩体位移 (如图11所示)。挠度计上有一些节点 (可达8个节点), 把它放在穿过滑动面的钻孔中。当岩体发生错动时, 节点随孔挠动, 使错动面上下节点之间的角度发生变化。用电测方法记录这一变化即得出位移值。图中左方为零点读数位置, 右方为岩体滑动时的情况。

挠度计应装置在保护套管之中, 一般要求钻孔直径最少是115毫米, 最好是134毫米。测量范围一般为60米, 根据需要可以更长一些。挠度计可以安装在任何方向、任何倾斜度的 (水平的、垂直的、向上或向下倾斜的) 钻孔中实测。

除了上述的各种仪器以外, 也可以选用收敛计 (convergence device) 进行边坡监控。图12在岩质边坡表面上不同部位埋设标点, 用收敛计测定各标点之间的距离变化。图14中为标点埋置情况, 图13为图12A中的细部结构。

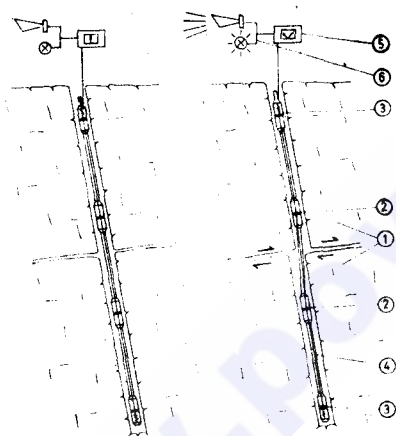


图11 链式挠度计布置示意图

①—发生滑动的岩体。②—带电动传感器的挠度计。③—带钢弦拉伸元件的仪器首部和尾部 (head and end pieces with wire tensioning device)。④—挠度计元件之间的钢弦。⑤—带限制开关的电动读数装置。⑥—光学或声学报警装置。

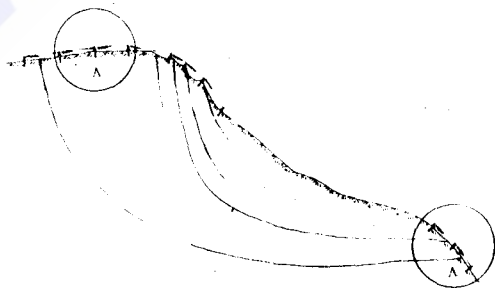


图12 岩质边坡位移的表面收敛计监控布置示意图

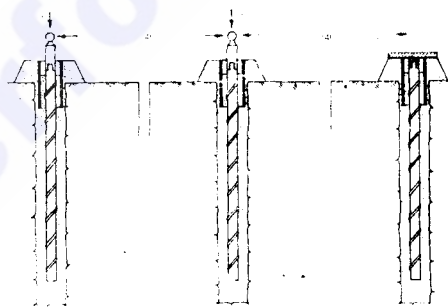


图13 图12A的细部结构图

①—水准点。②—两水准间的测量距离 (可达30米)。

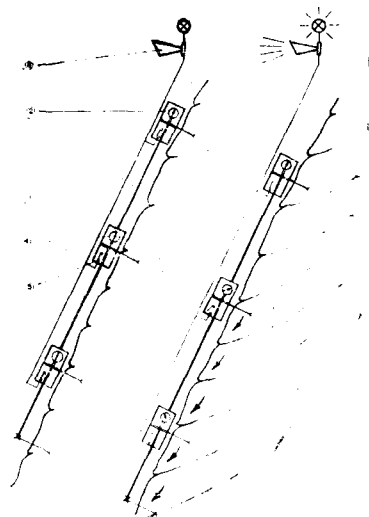


图14 链形引伸仪监控岩体位移

另外一种是在安装在岩体表面的链式引伸仪(chain extensometer)。固定在岩石锚杆上的仪器之间用伸长杆相连接,当岩体发生位移时,锚固点与伸长杆之间的距离发生变化。这一变化可用千分表进行人工读数或用电测进行遥测。图14中左上方为零点读数位置,右下方为岩体移动时的情况,

这种仪器的测量长度一般为100米,根据需要可予以加长,测量精度为0.1~1毫米。用于监控土质边坡、混凝土建筑物以及地下洞室中岩体的位移。

四、新奥法施工要点及其工程应用

本届会议上有4篇论文涉及到新奥法的要点及应用。

新奥法[New Austrian Tunneling method (缩写为 NATM)],是新奥地利隧洞施工方法的简称。近年来在世界各地和各种地层中得到推广和应用。以往认为新奥法不能应用于土层,但通过实践否定了这个观点,在采用新奥法时,最基本的一条是要充分掌握它的主要原理和方法,盲目搬用现成的经验会导致错误的后果,因此在介绍具体情况以前对新奥法的要点加以简单的回顾是有益的。

什么是新奥法呢?有的人往往把喷锚支护与新奥法混为一谈,其实喷锚支护仅仅是新奥法中一种施工手段而已。新奥法是岩石力学原理应用于工程实践的产物,只有正确地运用岩石力学原理,因地制宜地应用喷混凝土、锚杆和钢丝网等手段,合理地采用开挖和支护程序,充分发挥隧洞衬砌和围岩的联合作用,使围岩成为隧洞结构的承载部分才是新奥法。

新奥法的要点可以归纳为三个方面:

1. 运用近代岩石力学原理;
2. 开展现场岩石力学监控和观测,将观测资料及时反馈于设计和施工,并指导后一工作的进行;
3. 运用现代的施工手段。

新奥法的优点在于:

1. 适用于各种不同的地质条件,针对不同的地质条件,采取不同的支护措施;
2. 适用于各种不同形式、不同断面尺寸的地下洞室,在多洞室交叉时尤为适用;
3. 按照新奥法施工,对围岩的破坏最小,可以节约施工费用,缩短工期,提高经济效益。

新奥法常用的支护措施是:

1. 喷混凝土,如必要时,辅以钢丝网或钢纤维加固,能及时保护开挖表面,稳定隧洞围岩;
2. 岩石锚杆,在困难的地质条件下,岩石锚杆与钢拱支撑结合在一起是最有效的方法,尤以裂隙特别发育的围岩中,能够提供较大的安全度;
3. 超前支护,适用于困难地质条件;
4. 设置仰拱,使围岩形成一个闭合的管道,仰拱设置越快越好。

用新奥法施工时应该考虑以下几个主要问题:

1. 洞室形状:在开挖之前,最重要的是决定洞室的外形,洞室外形则取决于围岩的地

应力状态。

2. 开挖工作：应该尽可能不要扰动岩体的天然状态，最好是使用隧洞掘进机进行开挖。当使用钻爆方法时，应采用光面或预裂爆破，隧洞断面宜于一次开挖成形。当其它条件相同时，尽可能采用圆形断面，避免岩体发生应力集中而造成局部破坏。

3. 充分发挥岩体的自承能力：按照传统的看法，隧洞是由顶拱和边墙所组成的结构，支护着外面的山岩压力。而新奥法认为外力是由衬砌和围岩共同承担，支护仅给岩体以帮助，提供侧向力，使之处于三维应力条件之下。若处理得当，岩石能自己支护自己，从外荷转变为承重结构。

4. 薄壳结构：衬砌尽量做成薄壳，薄壳结构的工作状态比笨重的传统衬砌要好得多。新奥法主要系列的创始人拉布舍维奇从已运转的隧洞中观察到许多典型的剪切破坏现象，认为隧洞的破坏是受剪而不是受弯曲，并为以后的模型试验所证实，为了避免岩体性状恶化，应采取薄壳结构。

5. 环形封闭支护：尽可能快地进行支护和及早封闭，以形成环形结构，尤其在浅埋隧洞中，这一点特别重要。封闭得越快，围岩强度损失越小，变形稳定时间越短，可期望尽早达到平衡状态。

6. 双层壳体结构 (double shell structure)：隧洞衬砌分为内圈和外圈，内圈衬砌也要薄，与外衬砌紧密接触而不致出现摩擦力。安设外圈以后，当变形测量结果说明岩石的压力减弱。或建立起平衡状态之后，再设置内圈永久衬砌。

7. 按照岩石的反力曲线特性（这一曲线是1963年在萨尔斯堡地质力学讨论会上由拉布舍维奇等提出，后来由欧洲的Lombardi, Seeber, Egger 以及北美的Ladanyi 等人加以发展），选择最佳支护时间。如混凝土层喷射时间太早，岩石尚未变形（尤其是对于坚硬岩体），则作用到喷层上的压力很大；但支护时间太迟，则岩石的变形太大，要有更强的支护力才行。对于深埋隧洞，要等围岩自稳以后才进行封拱。

8. 岩体现场观测和监控，是新奥法施工中最重要的一个组成部分，主要包括下列内容：

- 1) 隧洞断面收敛测量——只给出相对距离；
- 2) 顶拱和仰拱的水准测量——给出绝对变形；
- 3) 多点位移计（长 ≥ 13 米）测定岩体内部的变形；
- 4) 岩体原始应力测量；
- 5) 锚杆应力及预应力锚杆荷重测量；
- 6) 围岩与喷层之间的接触应力以及喷层中切向应力测量——用格罗采应力计。

近年来施工的汉诺威—沃兹堡高速铁路隧道就是基于上述原则进行的，此铁道车速每小时达250公里。路线曲率半径为7,000米，最大坡度为12.5%，由于线路较直，全线40%要通过隧道，10%通过桥梁，已建成隧洞6,000米，开挖断面一般为110~145米²。隧道通过中等到严重破碎的砂岩，某些地段为糜棱化断层带及易于变形的软土带。在掘进过程中，考虑下述原则：

- 1) 隧道衬砌由外圈和内圈双层壳体结构组成；
- 2) 隧道的掘进（开挖和支撑）决定于地质条件；

3) 支撑措施应保证在围岩内部形成一个承重结构, 因此只有一部分二次应力作用在外圈衬砌上;

4) 通常内圈衬砌不加钢筋, 其结构稳定性是在考虑到长时间运行过程才可能从外圈衬砌传过来的外力而设计的;

5) 随着施工的进展, 同时进行岩体的现场监测以及相应的电子计算机稳定分析, 分析和监控结果与时间用于指导设计和施工;

6) 为了进行有效的计算, 对围岩的性状及支护材料的特性应事先进行测定。在解释成果时, 注意外衬砌中裂缝的形成和发展, 掌子面下的应力分布情况以及在长期运转过程中可能作用到内圈衬砌上的外力。

事实证明, 在进行较大断面的地下洞室开挖时, 新奥法是最经济的, 它的适应性较强, 可用于各种地质条件。当断面为 $50\sim 60\text{米}^2$ 的导洞开挖时, 在围岩岩石破碎、复盖层较薄和地应力较高的情况下, 每天的进尺可达 $3\sim 8\text{米}$ 。

与会的论文作者一方面论述了计算工作的重要性; 另一方面也强调了施工过程中的计算工作决不能代替有经验的施工人员和现场监测人员。

另一个工程实例为奥地利Pfander公路隧洞, 总长 6.7公里 。通过粘土质泥灰岩地段时, 由于岩石中蒙脱石含量达 7% , 以及地下水的渗流作用, 隧道底鼓达 30厘米 。他们曾对泥灰岩进行试验, 当加水后, 其体积可增加 5% ; 在室内条件下, 如限制体积膨胀, 其膨胀压力可达 3.0牛顿/毫米^2 。严重的鼓胀是在1978年, 即隧道开始动工第二年发生的。为了克服病害, 在隧道围岩内用岩石引伸仪进行现场测量, 由观测资料得出膨胀速率来设计加固锚杆, 最后在底拱处增设了 10米 长的预应力岩石锚杆(每根锚杆的承载能力为 600千牛顿)得到满意的效果。在鼓胀特别严重的地区, 约有 79米 长的一段重新进行了开挖和返工修理, 其余部分, 按照现场监控结果, 附加锚杆以后, 趋于稳定。

应予指出的是, 岩体产生一定的变形之后膨胀压力要显著减少, 故支护受力实际要比试验室内所测的最大膨胀力要小得多。

五、收获和体会

(一) 通过参加此次会议及参观考察, 了解到奥地利岩石力学、地质力学方面的动态, 同时与一些知名的专家进行了接触, 初步开展了两国之间的学术交流, 探索了岩石力学和地质力学的发展前景。

(二) 本届会议上的论文, 大部分是地质力学、岩石力学在工程上的应用。中国地质构造复杂, 建设规模巨大, 从事地质力学、岩石力学的人数也较多, 只要明确方向, 加强协作, 认真总结经验, 完全有条件在不远的将来赶上先进国家的水平(实际上在岩石流变学及岩体结构力学方面, 中国已走在前列)。今后我们也可以创造条件, 在我国召开国际性专业会议, 以促进学科的发展, 并扩大我国在学术界的影响。在科学研究方面, 看来要紧紧密结合国民经济建设。就我部来说, 要结合水利水电建设的需要, 从生产实际中找课题。当然也要注意远近结合, 作一些基础理论方面的研究。

(三) 奥地利专家非常注意综合利用本国的人力物力条件, 各自发展其特长。机构和人

员都相当精干,国内外技术协作也很密切。

就我国具体情况而言,今后宜做好分工协作,在自力更生的基础上,充分发挥现有力量。目前,在人力物力方面,往往各单位独成体系,别的单位有新仪器设备,本单位也要有,耗费财力且利用效率不高。在岩石力学测试仪器研制方面,动辄几家分散进行同一项目(如岩石多点位移计等)。因此,对于某些关键性的设备可以共有,不一定万事不求人。加强组织协调,关键是有一个科学管理方法。

(四)我国在岩石力学现场监控观测方面,尤其是地下工程,边坡工程观测仪器方面,与奥地利及西欧各国差距甚大,建议国家组织力量,重点进行突破。

(五)若今后组织力量对奥地利进行考察,似不宜局限于奥地利一个国家。因奥地利一些工程顾问公司,虽然在国际上名声很大,并无具体部门直接从事科学研究。可以考虑对附近的国家,如西德、瑞士等国的科研单位同时进行考察(西德的卡尔斯鲁大学、阿亨大学,瑞士的苏黎世工业大学等都是很有名的)。或利用开会期间进行参观访问,如能重点考察,收效可能更大。

《四川水利》征订启事

《四川水利》是四川省水利学会和四川省水利电力厅科技情报中心站合办的水利科技综合性期刊,由该情报中心站内部发行。

本刊主要刊载水利水电规划、勘测设计、施工和管理的实践经验。问题探索和科研成果。内容包括各有关学科,如水工、水文、机电、材料试验、灌溉技术、水文工程地质、水利经济、水利史志等,每期除刊载短小论文十余篇外,还辟有文摘专栏、新技术介绍和资料专栏。内容力求实用,面向基层,作到图文并茂,雅俗共赏。

本刊每季度出版一期,每期80页,收费0.30元,欢迎省内外单位和个人订阅。办法是:通过信件与四川省成都市实业街省水科所内科技情报中心站联系,即函寄订阅单,填单收订。

(上接第10页)

ech. Abstr, Vol.18, NO.5. 437—443.

[6] S. Martinetti (1977), Experience in field measurements for underground power stations in Italy. Field Measurements in Rock Mechanics, Vol I. 509—534

[7] 陶振宇 (1980), 岩石力学基本知识 (四), 《水力发电》, NO.10. 54~59.

[8] L. Müller; F. Fecher (1980), 新奥法的基本思想和主要原则, 《地下工程》, NO.6.

[9] 陶振宇 (1982), 我国隧洞建筑法刍议, 武汉水利电力学院。

本文承李东一同志协助描图, 笔者深表感谢。